

## タイミングの精神生理学的研究

## —時間情報処理と随伴陰性変動前期成分の関係に注目して—

## A psychophysiological study on timing, -focusing on the relationship between temporal information processing and the early component of contingent negative variation-

望月 芳子 (Yoshiko Mochizuki) 指導：山崎 勝男

タイミングは「反応のために有効な時間条件を創造する能力」である。運動科学、実験心理学、脳神経生理学など多様な側面から研究が行われている。しかしながら、時間情報処理と反応運動の関係は未だ明確に解明されていない。

本研究では、タイミングがとり易い条件と、とり難い条件の時間情報処理、運動準備開始、運動反応開始の時系列を随伴陰性変動(contingent negative variations: CNV)パラダイム〔警告刺激(WS)－命令刺激(IS)－運動反応(MR)〕によって調べた。

CNVは、「ヨーイ」「ドン」に反応する際、「ヨーイ」と「ドン」の間の準備期間(foreperiod:FP)に生じる緩徐な陰性電位である。反応時間課題に随伴して出現することから、脳内情報処理と心理過程の生理的な指標になっている。精神生理学的な研究では、時間情報処理に関与するワーキングメモリや、時間情報処理への注意資源配分に対応して前頭部のCNVが増大することが報告されている。

CNVには、前期CNV (WS後1000 ms) と、後期CNV (IS前1000 ms) が存在している。前期CNVはWSの定位反応、後期CNVは、反応準備、IS提示予期などを反映するといわれている。しかしながら、近年は、前期CNVと時間評価のプロセスなどとの関係を指摘している研究者もいる。本研究は、前期CNVに注目して研究をすすめた。

また、本研究では試行間間隔 (Intertrial Interval:ITI) 効果 (長いITI条件の方が短いITI条件よりRTが相対的に遅延する効果) を利用した。従来のタイミング研究はforeperiod (WS-IS間; FP) の間隔を操作してきた。しかしながら、本研究はFP間隔を固定して、ITIに操作を加え、ITI効果を利用しタイミングの難易条件を設定した。

一方、偏側性準備電位 (lateralized readiness potential; LRP) は、反応準備に関わる運動領野を調べるツールになっている。FP中のLRP (FP-LRP) の立上り潜時を求めれば、一次運動野の反応準備の開始時点を明らかにすることができる。また、ISに同期したLRPの立上り潜時は反応開始を調べることができる。

本研究ではCNV振幅を時間情報処理、FP-LRPの立上り潜時を反応準備開始、LRP立上り潜時を反応開始の指標に用いて、時間情報処理と反応の時系列的関係を調べた。また、

CNVを基にその機能的脳内発生部位について3次元脳内電流源密度分析 (low resolution brain electromagnetic tomography: LORETA) を行い、CNVの結果を検討した。

第1実験では、FPやITIを操作して、継続的タイミング事態の時間間隔情報処理をCNVとRTの指標から調べた。短いITI条件よりも長いITI条件でRTが遅延し、CNVの振幅が増大した (Fig. 1)。そのため、反応タイミングが難しいのは長いITI条件の方だと考えられた。長いITI条件では、FPの検索が終わるまで、キイ上げ運動を抑制して、ISを予期したものと推察された。この抑制効果はワーキングメモリの記憶痕跡の減弱に関係するものと思われた。

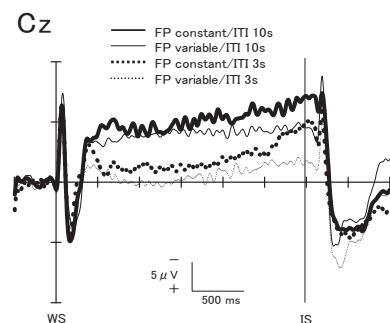


Fig.1 Czにおける4条件のCNV波形

第1実験では、単純反応課題遂行時のITI効果の関係を明らかにした。しかしながら、時間情報処理の検索と前期CNVとの関係は明確でなかった。

第2実験では、時間再生課題によって時間間隔情報処理や前期CNVと、ワーキングメモリの関係を調べた。その結果、前頭部の前期CNVの振幅が、短い保持条件よりも長い保持条件で増大したために、記憶痕跡の再構築に必要な注意資源の配分は前期CNVと密接に関係していることが明らかになった。

第3実験では、FPを3sに固定したままITIの長さに変化 (3s、4s、6s) を与えて、時間間隔情報処理と前期CNVの関係を調べた。第1実験に使用したITIと第2実験の保持時間は3s、9s、10sであったが、ITIの効果と時間情報処理や前期CNVとの関係を調べるためには、3s～9s間のITIも調べる必要があったからである。実験の結果、ITI 3s条件よりも、ITI 4s条件とITI 6s条件の時間間隔の検索は、FP

早期に生じることが明らかになった。

第1、第2、第3実験から、長いITI条件では、時間間隔の検索に必要な注意資源の配分が増加する結果、反応の準備や運動反応に必要な時間条件が変化して、タイミングの難易に影響したものと思われる。

第4実験では、CNVパラダイム遂行時における時間間隔の検索と運動準備の関係を検討した。ここでは、CNVからLRPを求め、加えてCNVをLORETA分析した。第3実験までの指標はCNVに限定していたために、運動の準備を明確に把握することができなかったからである。その結果、短いITI条件よりも長いITI条件でRTが遅延し、前期CNVの振幅が増大していた (Fig. 2) ことから、時間間隔の検索はFPの早期から生じているものと推測できた。また、長いITI条件ではFP-LRPの立ち上がり潜時が遅延した (Fig. 3) ことから、FPの検索中には反応を準備できないことも明らかになった。

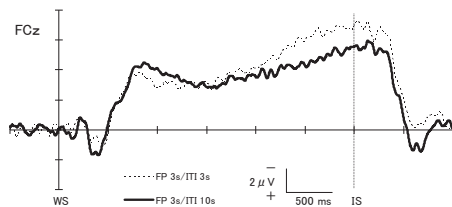


Fig.2 FCzにおける2条件のCNV波形

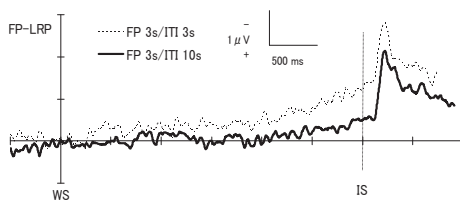


Fig.3 2条件のFP-LRP波形

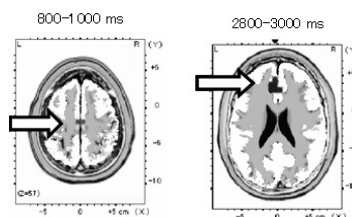


Fig.4 CNVの条件差の発生源をLORETAから推定した結果

また、LORETAの分析から、前期CNVは時間情報処理に関与する補足運動野 (Fig. 4左)、そして後期CNVは楔前部、帯状回前部 (Fig. 4右) が推定された。補足運動野は時間の蓄積との関与が示唆されている。また、楔前部の機能には記憶や運動想起との関連を示唆している研究者もいる。帯状回前部は知覚と運動を統合する領域であることを報告した研究や、前頭前野背外側とともに注意の持続に関与し、必要な脳の活動領域に集中するために他の活動を抑制するために役立つといった知見もある。これらの脳内知見は、第4実験が明らかにした運動準備情報の早期統合や、

反応準備活動の早期開始の結果とも対応している。

第4実験までに、時間情報処理は前頭部の機能に関与し、前期CNVに反映することが明らかになった。一方、多くの研究者は、加齢と前頭部の機能低下の関係を明らかにしている。若年者に比較して高齢者の身体的能力の衰退は否めず、運動やワーキングメモリなどの課題パフォーマンスは低下している。CNVをツールにした精神生理学的な加齢効果の研究では、加齢によるCNV振幅減少を報告している。しかしながら、時には高齢者が若年者のパフォーマンスを凌ぐ場合もある。特に多くの中高年者は、活動的で意欲に満ちているようにも思われる。パフォーマンスや認知機能の衰退を、動機づけや努力などの心理的要因や関与領域脳の活性化などが補っていると主張する研究者もいる。

そこで、第5実験では、若年群と中高年群を対象にして、前頭部の機能と時間情報処理の関係や、前期CNVと加齢効果の関係を調べた。その結果、RTに群間差はなかったにもかかわらず、中高年群の前頭部の前期CNVと後期CNVは、若年群よりも増大していた (Fig. 5)。中高年群の前期CNVの振幅増大は、前頭部の認知情報処理の増大を示唆している。また、後期CNVの振幅増大は動機づけといった心理的要因の高まりと考えることもできる。中高年群は前頭部の認知情報処理活動と、動機づけなどの心理的要因があいまって、パフォーマンス補償の達成に大きく貢献したものと思われる。

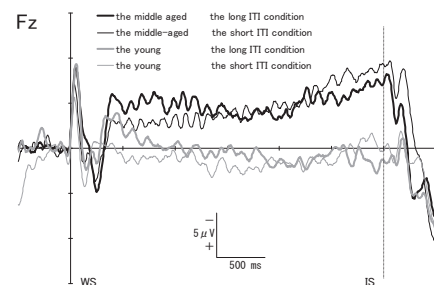


Fig.5 Fzにおける両群の2条件のCNV波形

総合考察では、以上の研究結果をまとめ、時間情報処理と反応運動の時系列的関係を考察した。本研究では、CNVのパラダイムによって、タイミング反応の時間情報処理と反応情報処理の関係を検討した。脳内の情報処理を調べた結果、時間情報の処理段階が運動情報の処理開始に影響を及ぼすことや、命令刺激まで適切に反応を抑制することが重要であることも明らかになった。LORETAによってCNVの脳内発現領域を推定する手法は、本研究のCNVの現象を、さらに強化したものと思われる。

また、高年齢で前頭部の質量が低下した場合にも、パフォーマンスの低下を前頭部の活動が補償することから、補償メカニズムが機能すれば、当然前頭部の前期CNVに反映するものと思われる。